

28. 11. 2003

10 / 529 174

23 MAR 2004



REC'D 23 JAN 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

102 44 275.4

**Anmeldetag:**

23. September 2002

**Anmelder/Inhaber:**

Hermann T r o p f , St. Leon-Rot/DE

**Bezeichnung:**

Anordnung und Verfahren zum Greifen von  
ungeordneten Teilen, mit Roboter und Bild-  
verarbeitung

**IPC:**

G 06 K 9/20

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-  
lichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. Oktober 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Faust

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**BEST AVAILABLE COPY**

Anordnung und Verfahren zum Greifen von ungeordneten Teilen, mit Roboter und Bildverarbeitung.

Beschreibung:  
-----

Die Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zum Greifen von ungeordneten oder schlecht geordneten Teilen, insbesondere Schüttgut-Teilen, mittels Roboter oder sonstigen programmierbaren Handhabungssystemen, wobei der Roboter über ein Bildverarbeitungssystem mit am Roboter montierten Kameras geführt wird.

Für diese Aufgabe gibt es eine ausführliche, meist akademische Literatur, die sich hauptsächlich mit den Bildverarbeitungsmethoden auseinandersetzt. Die eingesetzten Bildauswerteverfahren sind meist konturorientierte Verfahren; konturbasierte Verfahren liefern gegenüber flächenbasierten Verfahren i.a. stabilere und genauere Ergebnisse.

Ein entscheidendes Problem bei der praktischen Realisierung eines solchen Systems besteht darin, daß sich bei den bisher bekannten Kamera- und (ggf.) Beleuchtungsanordnungen nur ein Teil der Werkstückkonturen ausreichend zuverlässig darstellt.

Nach DE 3545960 wird versucht, unter Verwendung einer einzelnen Kamera, mehrere Bilder mit unterschiedlichen Beleuchtungen aufzunehmen; dadurch wird zwar die Wahrscheinlichkeit erhöht, daß sich eine Kante in einer dieser Bildaufnahmen darstellt, sichergestellt ist dies jedoch nicht, beispielsweise dann nicht, wenn an der Kante der Hintergrund die gleichen Oberflächeneigenschaften hat wie das obere Werkstück und gleiche räumliche Orientierung.

Mit bekannten Beleuchtungsanordnungen ergeben sich nur in Sonderfällen zuverlässige Bildmerkmale, beispielsweise bei glänzenden zylindrischen Teilen, bei denen sich eine zuverlässige, hell reflektierende Mantellinie ergibt. Trotz des großen praktischen Bedarfs werden daher bisher kaum Roboter zum dreidimensionalen Greifen von Schüttgut eingesetzt; eine praxistaugliche Lösung der Aufgabe ist bisher daran ge-

scheitert, daß sich unter ungünstigen Bedingungen bestimmte Konturen schlecht oder garnicht darstellen. Praxistaugliche Auswege sind mit großem mechanischem Aufwand verbunden, beispielsweise werden die Teile auf einem transparenten und von unten durchleuchteten Förderband ausgebreitet und, falls sie übereinander liegen, mit einer zusätzlichen steuerbaren Einrichtung von unten angestoßen in der Hoffnung, daß sie danach getrennt liegen und sich damit mit vollständigen Konturen darstellen; dann erst werden sie über ein Bildverarbeitungssystem lokalisiert und durch einen Roboter gegriffen..

Welche Konturen sich zuverlässig darstellen und welche nicht, hängt bei bekannten Kamera- und Beleuchtungsanordnungen von der zufälligen räumlichen Orientierung der Werkstücke ab. Damit wird die Realisierung einer zuverlässigen Bildauswertung äußerst schwierig, insbesondere wenn die Aufgabe eine echte dreidimensionale Lagebestimmung der Werkstücke erfordert (i.a. drei Positionsparameter und drei Orientierungsparameter).

Ein Ausweg ist der Übergang von konturorientierter Verarbeitung zu flächiger 3D-Auswertung mittels strukturiertem Licht. Diese Methode ist jedoch technisch äußerst aufwendig und erfordert "exotische" Beleuchtungskomponenten.

Aufgabe der Erfindung ist die zuverlässige Darstellung aller oder möglichst vieler unverdeckten Konturen eines Werkstücks, unabhängig von der zufälligen räumlichen Orientierung des Werkstücks, unter Verwendung einfacher Standard-Beleuchtungskomponenten, insbesondere ohne strukturiertes Licht.

Die Aufgabe wird nach den Ansprüchen 1 und 4 gelöst.

Das Wort "potentiell" in den Ansprüchen 1 und 2 ist so zu verstehen, daß die Blickfelder der Kameras so eingerichtet sind, daß sich ein gemeinsames Werkstück in den Blickfeldern befinden KANN (ist dies nicht der Fall, so nimmt der Roboter eine neue Ausgangsstellung ein, um ein Werkstück zu suchen).

Mit der Anordnung nach Anspruch 2 werden alle Konturen eines Werkstücks, unabhängig von seiner zufälligen räumlichen Orientierung, erfaßt.

Fig. 1 zeigt eine Seitenansicht der Kamera- und Beleuchtungsanordnung, mit den Kameras 1, 2, 3, und den ihnen zugeordneten, (symbolisch gezeichneten) Beleuchtungen 11 (für 1), 12 (für 2) und 13 (für 3), sowie dem Schüttgut mit den Werkstücken 4. Die gezeichnete feste Unterlage kann natürlich beispielsweise durch ein Transportband oder einen Behälter ersetzt werden.

Fig. 2 zeigt, um eventuell mögliche Mißverständnisse in Fig. 1 zu vermeiden, die Anordnung senkrecht von unten gesehen.

Die Figuren 1 und 2 zeigen symmetrische Anordnungen mit 3 Kameras. Die hier beschriebene Anordnung und das hier beschriebene Verfahren betreffen natürlich auch sinngemäß gleichartige Anordnungen, die von einer symmetrischen Geometrie abweichen.

Die Figuren 1 und 2 zeigen symmetrische Anordnungen mit von außen nach innen gerichteten Kameras. Die Kameras müssen nicht notwendigerweise (alle) von außen nach innen gerichtet sein.

Fig. 3 zeigt ausschnittsweise eine Kamera und die dazugehörige Beleuchtung und den damit erzeugten Schlagschatten 5 an der Werkstückkante 6. Die gegenüberliegende Werkstückkante 7 ist aus Sicht der Kamera 1 nur unter günstigen Umständen erkennbar, zum Beispiel bei einer dunklen Unterlage. Die Kanten 6 sind aus Kamera 1 dagegen zuverlässig sichtbar, unabhängig von der Materialhelligkeit und der dreidimensionalen Lage des Werkstücks, bei geeignet angepaßter Größe der Beleuchtung gilt dies auch bei glänzenden Werkstückoberflächen.

Fig. 4 zeigt, von oben gesehen, eine Werkstückszene und drei Kameras, gleichzeitig die drei getrennten Bilder 21 (für 1), 22 (für 2), 23 (für 3), mit den Schlagschatten als dicke Kante eingezeichnet.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß mit der Anordnung mit mindestens drei Kameras jeder Konturabschnitt in mindestens einer Kamera sich in der in Fig. 3 dargestellten Situation (Kante 6) befindet und für diese Kamera die Kontur also zuverlässig im Bild erscheint.

Ein nachgeschaltetes Bildauswerteverfahren besitzt nun - von ggf. vorhandenen grundsätzlichen geometrischen Mehrdeutigkeiten abgesehen - alle Informationen, die erforderlich sind, um eine dreidimensionale Lageerkennung zu realisieren.

Daß sich bei der gegebenen Anordnung eine stark kontrastierende Darstellung von Werkstückkonturen ergibt, ist anhand Fig. 3 dargestellt. Die Werkstückoberfläche reflektiert in jedem Falle hell, da sie sich zumindest näherungsweise im Glanzwinkel befindet (bei matten Oberflächen genügt eine kleine Lichtquelle, um dies zu erreichen, bei glänzenden Oberflächen benötigt man eine größere Lichtquelle). In Richtung Kamera befindet sich ein Schlagschatten, in den die Kamera hineinblickt, der sichtbar ist (ein ggf. auf der gegenüberliegenden Seite des Werkstücks liegender Schlagschatten wäre z.B. nicht sichtbar) und immer dunkler erscheint als das Werkstück. Damit bildet sich die Werkstückkontur immer zuverlässig im Bild der Kamera ab. Das Ende des Schlagschattens bildet allerdings ebenfalls eine Kontur (8). Diese hat jedoch die umgekehrte Polarität: im Kamerabild wechselt an der Werkstückkontur, von oben nach unten gesehen, die Helligkeit von hell nach dunkel, am Ende des Schlagschattens von dunkel nach hell. Damit sind bildauswertetechnisch Werkstückkonturen von Schattenkonturen sehr einfach voneinander zu unterscheiden.

Diese sehr vorteilhaften Eigenschaften der Konturbildung bleiben auch prinzipiell beibehalten, wenn sich, im Gegensatz zur Situation Fig. 3, kein ausgeprägter Schlagschatten bildet. Ein Schlagschatten bildet sich

um so eher, je flacher der Beleuchtungswinkel ist und je flacher der Betrachtungswinkel ist (Anmerkung: Beleuchtungs- und Betrachtungswinkel müssen nicht genau gleich sein). Auch wenn sich kein Schlagschatten bildet, erscheint in der Regel die der Kamera zugewandte (und damit der Beleuchtung abgewandte) Seite dunkler als die der Kamera abgewandte Seite. Je nach Werkstückgeometrie und Freiheitsgraden der Werkstücke wird ein optimaler Neigungswinkel und Größe der aktiv leuchtenden Fläche gewählt; bei glänzenden Oberflächen empfehlen sich größere Leuchtflächen als bei matten Oberflächen.

Bei der 3D-Auswertung besteht ein besonderer Vorteil der beschriebenen Anordnung darin, daß sich, bei kleinen Drehungen des Werkstücks im Raum, mindestens ein Konturbild verändert (i.a. verändern sich mehrere Konturbilder gleichzeitig), dergestalt, daß eine 3D-Lagebestimmung auch mit guter numerischer Genauigkeit erfolgen kann. Dies ist beispielsweise bei Anordnungen mit einer oder mehreren senkrecht auf die Werkstücke orientierten Kameras und/oder parallel zueinander ausgerichteten Kameras nicht der Fall.

Bildauswertetechnisch sind Werkstückkonturen und Schattenkonturen sehr einfach voneinander zu unterscheiden (s.o.), ohne Vorwissen über die Werkstückgeometrie einsetzen zu müssen. Nach den bisher bekannten Ansätzen kann eine sichere Unterscheidung von Werkstück- und Schattenkanten erst im Rahmen des (i.a. modellbasierten) Bildanalyseverfahrens geschehen; hier geschieht diese Unterscheidung vorab und ohne Vorkenntnisse, was wiederum die nachgeschaltete Analyse selbst wesentlich vereinfacht und robuster macht.

Weitere Vorteile ergeben sich daraus, daß Kameras und Beleuchtungen am Roboter befestigt sind:

- In der optimalen Roboterlage befinden sich Kamera UND Beleuchtung relativ zum Werkstück immer in genau der gleichen Geometrie. Die zugehörigen Bilder sind somit auch (fast) unabhängig von der aktuellen absoluten dreidimensionalen Lage des Werkstücks. Daraus ergeben sich enorme Vereinfachungen beim Teach von Werkstücken (Teachen

durch reines Vorzeigen und ohne Geometrieingabe wird dadurch ermöglicht!) und Verbesserungen bezüglich Robustheit der Bildauswertung. Diese vorteilhafte Situation ist nicht gegeben, wenn Kameras oder Beleuchtungen nicht mit dem Roboter mitgeführt werden.

- Diese Eigenschaft führt auch dazu, daß eine mehrstufige Arbeitsweise einfacher und sicherer realisierbar wird, wobei der Roboter nach einer ersten Bildaufnahme in einer ersten Bewegung zunächst die Relativlage der Kameras zum Werkstück grob angepaßt, und über eine nachgeschaltete Bildaufnahme und Bildauswertung eine Fein-Anpassung für das genaue Zugreifen realisiert wird. Natürlich kann das Ganze auch in mehr als zwei hintereinandergeschalteten Stufen realisiert werden.

Bei nicht getrennten Aufnahmekanälen ergeben sich Halbschatten anstelle von Vollschaten; auch dann gilt das Gesagte, nur sind die Kontraste nicht so stark wie bei getrennten Aufnahmekanälen. Durch Trennung der Kanäle, wie in den Ansprüchen 3 und 4 beschrieben, wird die Bildauswertung noch robuster.

## Ansprüche

-----

- 1: Anordnung zum Greifen von ungeordneten oder schlecht geordneten Teilen, insbesondere Schüttgut-Teilen, mittels Roboter und Bildverarbeitungssystem mit am Roboter montierten Kameras,

dadurch gekennzeichnet, daß

- mehrere, mindestens drei Kameras am Roboter montiert sind,
- mindestens drei der Kameras schräg zueinander angeordnet sind,
- die Kameras auf das Schüttgut oder einen Teil des Schüttguts gerichtet sind, potentiell mit einem gemeinsamen Werkstück voll oder teilweise im Blickfeld der Kameras,
- sich gegenüber jeder Kamera eine Beleuchtungseinheit befindet, die am Roboter montiert ist.

- 2: Anordnung nach Anspruch 1, potentiell mit einem gemeinsamen Werkstück jeweils voll im Blickfeld von mindestens drei Kameras.

- 3: Anordnung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, gekennzeichnet durch Schalteinrichtungen und/oder durch Polarisationsfilter und/oder durch Farbfilter und/oder durch Farbkameras, womit die Beleuchtungs-Bildaufnahmekanäle getrennt werden können.

- 4: Verfahren zum Greifen von ungeordneten oder schlecht geordneten Teilen, insbesondere Schüttgut-Teilen, mittels Roboter und Bildverarbeitungssystem mit am Roboter montierten Kameras, mit einer Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Bildaufnahme von mindestens drei Kameras getrennt über die ihr jeweils gegenüberliegende Beleuchtung geschieht, vorzugsweise

- durch Schalten der Beleuchtungen und zeitlich getrennte Bildaufnahme,
- oder durch polarisiertes Licht, und Polarisationsfilter auf Kameraseite,
- oder durch Beleuchtung mit unterschiedlichen Spektralbereichen, und Selektion von Spektralbereichen auf Kameraseite, auf Kameraseite vorzugsweise durch Farbkameras oder spektrale Filter.

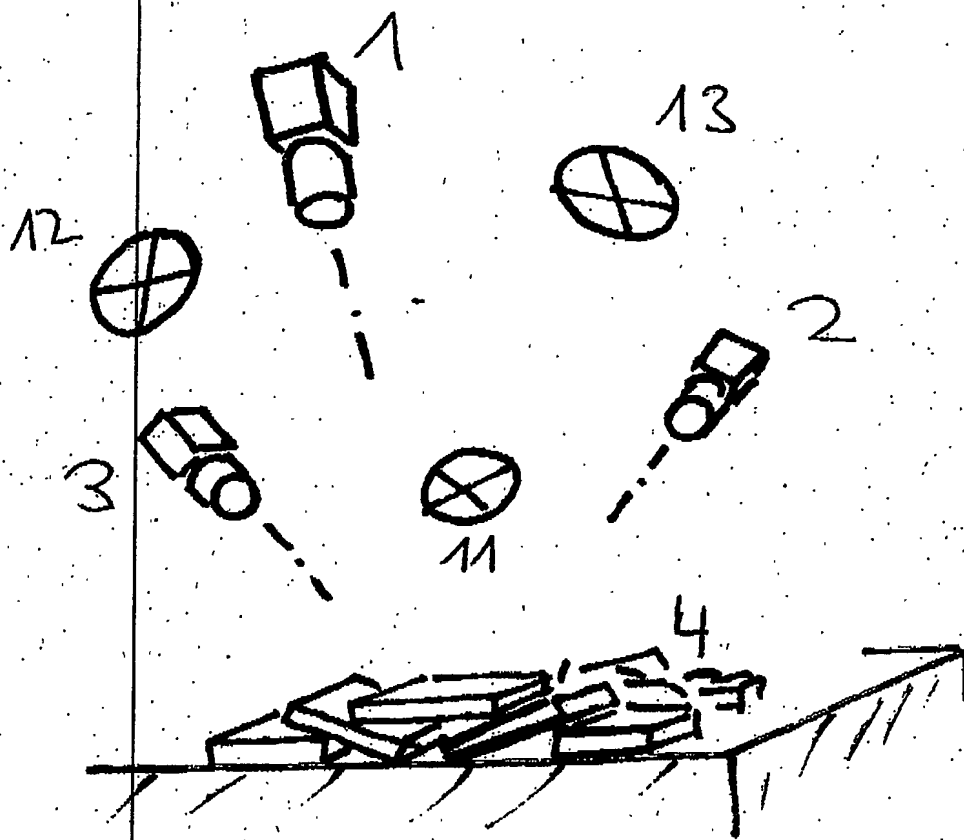


Fig. 1

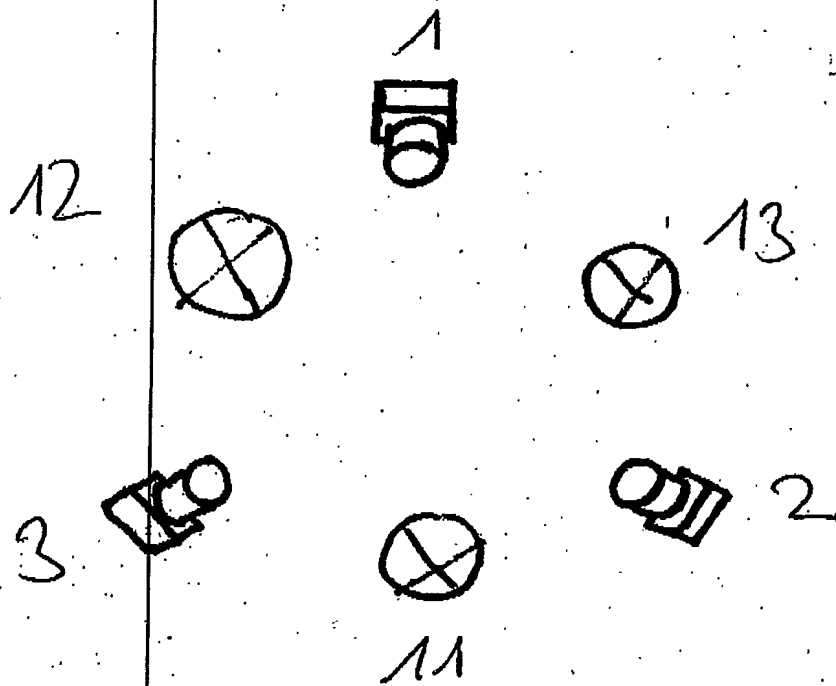


Fig. 2

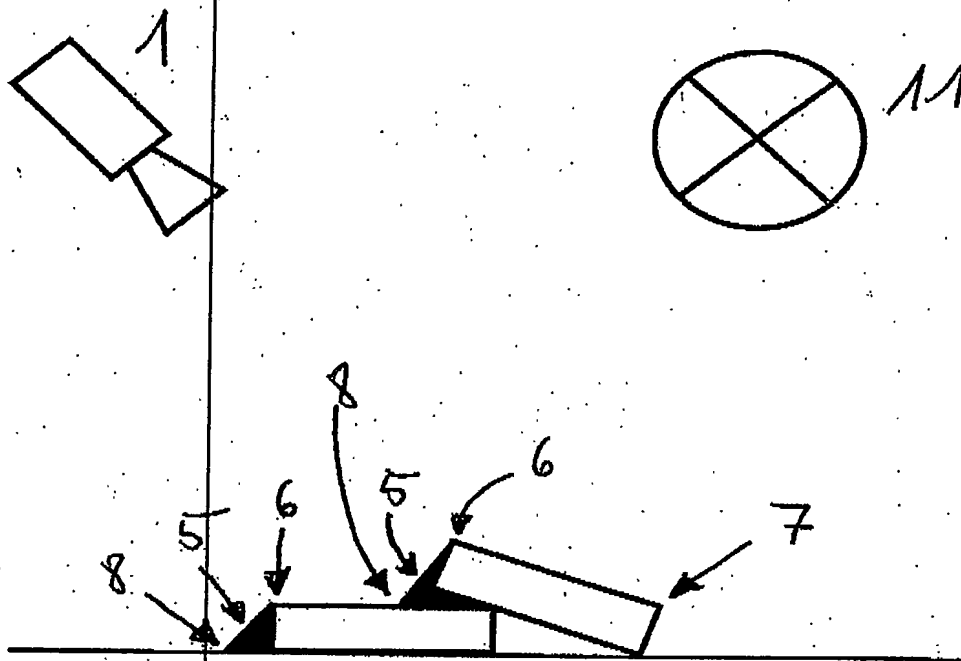
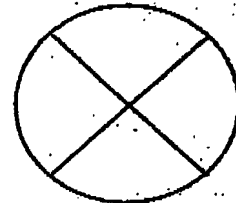
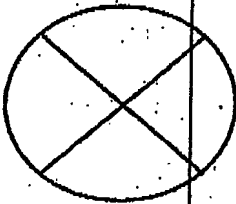
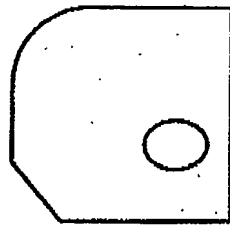
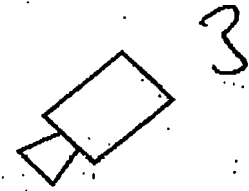
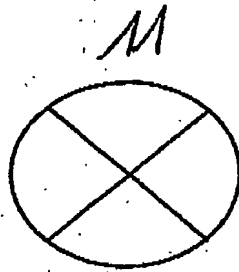
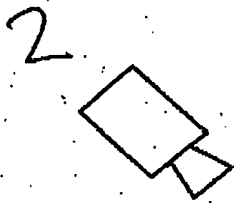


Fig. 3

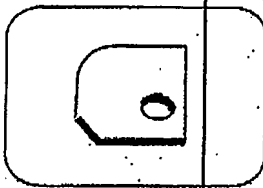


13

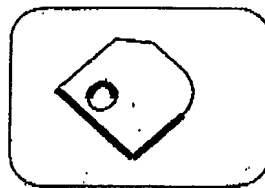
12



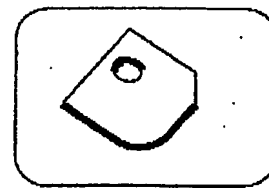
Fig. 4



21



23



22

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record

## BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images  
problems checked, please do not report the  
problems to the IFW Image Problem Mailbox**